

97P3353



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 197 22 211 A 1**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 R 33/385**  
H 01 F 27/36

21 Aktenzeichen: 197 22 211.0  
22 Anmeldetag: 28. 5. 97  
43 Offenlegungstag: 27. 8. 98

DE 197 22 211 A 1

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:  
Schuster, Johann, 90522 Oberasbach, DE; Bömmel,  
Franz, Dr.rer.nat., 91056 Erlangen, DE; Hentzelt,  
Heinz, 91058 Erlangen, DE; Arz, Winfried, Dipl.-Ing.,  
90762 Fürth, DE

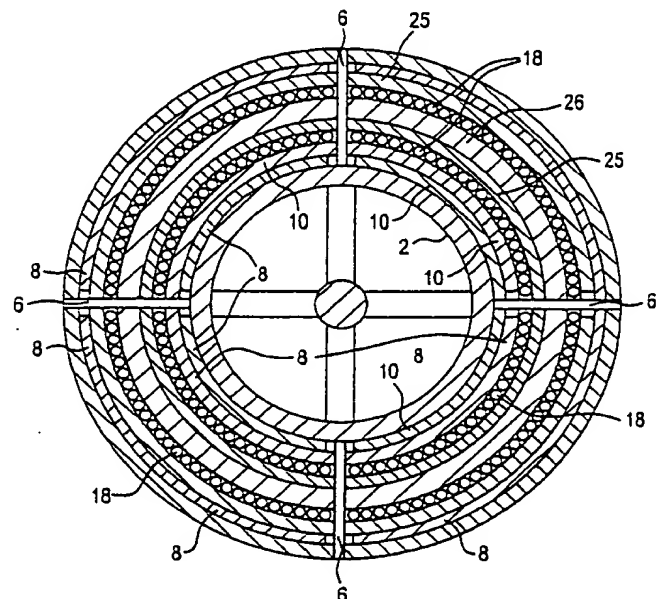
56 Entgegenhaltungen:  
DE 40 17 260 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen einer aktiv geschirmten Gradientenspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät

57 Das Herstellverfahren umfaßt die Schritte: Aufbau aller zu einem Primärgradientenspulensatz und einem Sekundärgradientenspulensatz gehörenden Gradientenspulen (16, 25) einzeln oder in Baugruppen (10) mit ein oder zwei Gradientenspulen (16) auf einem ersten Teil einer Vergußform (2), vervollständigen der Vergußform (2, 28, 30) zum Vergießen, vergießen der Gradientenspulen mit einem Vergußmaterial (32) und entnehmen der Gradientenspulenordnung aus der Vergußform (2, 28, 30) nach dem Aushärten des Vergußmaterials (32). Die Herstellvorrichtung umfaßt einen ersten Teil einer Vergußform (2), worauf Justierbolzen (6) zum paßgenauen Aufbau von Baugruppen (10, 18) befestigt sind.



DE 197 22 211 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen einer aktiv geschirmten Gradientenspulenanordnung für ein Magnetresonanzgerät mit einem Primärgradientenspulensatz zum Erzeugen von Gradientenfeldern innerhalb eines Untersuchungsraums und einem Sekundärgradientenspulensatz zur Schirmung von Streufeldern. Die Erfindung betrifft ebenfalls eine Vorrichtung zu Durchführung des Verfahrens.

Ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art ist aus der DE-A-40 17 260 bekannt. Dort werden zur Herstellung einer vergossenen rohrförmigen Gradientenspulenanordnung auf einem zylindrischen Formkern acht einzeln vorgefertigte Sattelspulen mittels Bolzen montiert. Dabei bilden ein Paar mit zwei in axialer Richtung nebeneinander angeordneten Sattelspulen mit einem gleichen diametral gegenüberliegenden Paar eine Gradientenspuleneinheit zur Erzeugung eines ersten Gradientenfeldes in einer ersten diametralen Richtung innerhalb des Gradientenrohres. Eine gleich aufgebaute zweite Gradientenspuleneinheit mit ebenfalls vier Sattelspulen, die jedoch gegenüber der ersten Gradientenspuleneinheit um 90° verdreht angeordnet ist, ist zur Erzeugung eines zweiten diametral ausgerichteten Gradientenfeldes vorgesehen. Um die Sattelspulen herum ist mit Hilfe von Führungsteilen eine Zylinderspule gewickelt, die zur Erzeugung eines Gradientenfeldes in axialer Richtung vorgesehen ist. Die beiden Gradientenspuleneinheiten bilden zusammen mit der Zylinderspule einen Primärgradientenspulensatz. Zur Abschirmung von Streufeldern außerhalb des Gradientenrohres ist ein Sekundärgradientenspulensatz vorgesehen, der prinzipiell gleich wie der Primärgradientenspulensatz aufgebaut ist. Dabei soll wegen der Effektivität oder auch Sensitivität der rohrförmigen Gradientenspulenanordnung der Primärpulensatz möglichst weit innen und der Sekundärpulensatz möglichst weit außen bezüglich der Rohrachse angeordnet sein. Der Sekundärgradientenspulensatz wird auf einem Tragrohr als Baueinheit vormontiert. In das Tragrohr mit dem Sekundärgradientenspulensatz wird dann der auf dem Formkern aufgebaute Primärgradientenspulensatz eingesetzt. Der Formkern mit dem Primärgradientenspulensatz wird zusammen mit dem auf dem Tragrohr vormontierten Sekundärgradientenspulensatz in eine Hohlform eingesetzt und dort mit einem aushärtbaren Vergußmaterial vergossen. Nachdem das Vergußmaterial ausgehärtet ist, wird die Gradientenspulenanordnung der Vergußform entnommen.

Die vergossene Gradientenspulenanordnung wird in einen zylindrischen Innenraum eines Grundfeldmagneten des Magnetresonanzgeräts eingesetzt. Der Grundfeldmagnet erzeugt in seinem Innenraum ein statisches und homogenes Magnetfeld in axialer Richtung. In die Gradientenspulenanordnung wird noch eine ebenfalls rohrförmig ausgebildete Hochfrequenzantenne eingesetzt, die an den eigentlichen Untersuchungsraum des Magnetresonanzgeräts angrenzt. Die Größe des Innenraums des Grundfeldmagneten (warm bore) bestimmt wesentlich seinen Preis. Wenn bei einer gegebenen Größe des Untersuchungsraums die Wanddicke des schalenförmigen Aufbaus der Hochfrequenzantenne und der Gradientenspulenanordnung minimiert wird, kann auch der Innenraum des Grundfeldmagneten klein gehalten werden, was sich vorteilhaft auf die Herstellkosten auswirkt.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen einer aktiv geschirmten Gradientenspulenanordnung mit einer geringen Bauhöhe anzugeben.

Die erstgenannte Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den folgenden Schritten gelöst:

- a) Aufbau aller zum Primärgradientenspulensatz und Sekundärgradientenspulensatz gehörenden Gradientenspulen einzelnen oder in Baugruppen mit ein oder zwei Gradientenspulen auf einem ersten Teil einer Vergußform,
- b) vervollständigen der Vergußform zum Vergießen,
- c) vergießen der Gradientenspulen mit einem Vergußmaterial,
- d) entnehmen der Gradientenspulenanordnung aus der Vergußform nach Aushärten des Vergußmaterials.

Durch den Aufbau aller zum Primär- und Sekundärgradientenspulensatz gehörenden Gradientenspulen auf einen ersten Teil einer Vergußform kann grundsätzlich auf Tragrohre verzichtet werden. Die Wanddicke des Gradientenrohres verringert sich dadurch. Die Sensitivität kann, ohne daß Tragrohre berücksichtigt werden müssen, optimiert werden. Die benötigte Steifigkeit der Gradientenspulenanordnung wird durch die miteinander vergossenen Gradientenspulen und gegebenenfalls zusätzlichen Funktionseinheiten und Verstärkungskomponenten erreicht. Da alle Gradientenspulen und sonstige Funktionseinheiten in einer einheitlichen Vergußmatrix ohne Trennstellen und Grenzflächen eingebettet sind, wird zudem die Abführung von Verlustleistung begünstigt, die durch die Gradientenströme in den Gradientenspulen erzeugt wird.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung werden Kühlmittelkanäle mit den Gradientenspulen vormontiert und dann mit vergossen.

In dem zwischen dem Primär- und Sekundärgradientenspulensatz benötigten Zwischenraum werden bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung Formkerne montiert, die den Abstand zwischen dem Primär- und Sekundärgradientenspulensatz herstellen und nach dem Vergießen und Aushärten wieder entfernt werden. Die Formkerne können aus Aluminium bestehen und werden gegebenenfalls mit einem Trennmittel (z. B. Silikonöl) benetzt, damit sie nach Aushärten des Vergusses leicht entfernbar sind. Des weiteren können sie zur Unterstützung des Aushärtprozesses stellenweise geheizt oder gekühlt werden. Die so entstandenen taschenförmigen Hohlräume sind zur Aufnahme von Shimelementen ausgebildet. Mit den Shimelementen läßt sich das statische Grund- oder Hauptmagnetfeld formen und homogenisieren.

Bei einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung werden an dem ersten Teil der Vergußform mindestens zwei Justierbolzen befestigt, wobei in den Gradientenspulengruppen und den einzelnen Funktionsgruppen mindestens zwei Durchgangslöcher eingebracht sind. Die einzelnen Gradientenspulengruppen und Funktionsgruppen werden dann so aufgelegt, daß die Justierbolzen in die Durchgangslöcher eingreifen. Damit lassen sich die einzelnen Baugruppen auf einfache Art genau zueinander positionieren.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden zumindest einige der Gradientenspulengruppen und/oder der Funktionsgruppen mit Spannbändern vorläufig gehalten. Damit werden sie zusätzlich zu Positionierung mittels der Justierbolzen in der gewünschten Form gehalten bis die Vergußmasse ausgehärtet ist.

Die zweitgenannte Aufgabe bezüglich der Herstellvorrichtung wird dadurch gelöst, daß auf einem ersten Teil einer Vergußform Justierbolzen zum paßgenauen Aufbau von Baugruppen befestigt sind, wobei in den einzelnen Baugruppen entsprechende Bohrungen eingebracht sind.

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung bestehen der erste Teil der Vergußform und die Justierbolzen aus einem nichtmagnetischen Material. Damit kann nach der Vormontage, jedoch vor dem Vergießen der Gradientenspulen ein von den

Gradientenspulen erzeugtes Magnetfeld überprüft werden. Montagefehler können so vor dem Vergießen entdeckt und gegebenenfalls beseitigt werden.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von sechs Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 in einer perspektivischen Darstellung einen zylindrischen Formkern mit Justierbolzen zum Herstellen einer rohrförmigen Gradientenspulenordnung,

Fig. 2 in einer perspektivischen Ansicht zwei zu einer Gradienteneinheit gehörende Gradientenbaugruppen,

Fig. 3 in einer perspektivischen Ansicht zwei Kühleinheiten mit daran befestigten Führungsteilen zum Wickeln der Zylinderspulen

Fig. 4 in einem Längsschnitt alle zur Gradientenspulenordnung gehörende Baugruppen,

Fig. 5 dieselbe Gradientenspulenordnung wie in Fig. 4, jedoch im Querschnitt dargestellt und

Fig. 6 in einer perspektivischen Ansicht die auf dem Formkern montierten Baugruppen in einer Vergußform.

Fig. 1 zeigt einen zu einer Vergußform gehörenden zylindrischen Formkörper oder Dorn 2, worauf zur Herstellung der Gradientenspulenordnung schalenförmig die dazu gehörenden Baugruppen angeordnet werden. Der Dorn 2 kann auch leicht konische Außenabmessungen besitzen, um nach dem Aushärten der Vergußmasse die Gradientenspulenordnung leicht ablösen zu können. Der Dorn 2 besteht vollständig aus einer unmagnetischen Aluminiumlegierung. Der Dorn 2 kann an beliebigen Stellen geheizt oder gekühlt werden, um die Formtemperatur an die Anforderungen des Aushärtprozesses anzupassen. Gegebenenfalls wird seine Oberfläche vor der Bestückung mit zu vergießenden Baugruppen mit einem Trennmittel bedeckt. Auf dem Dorn 2 sind an den Enden auf jeweils einer Umfangslinie 4 gleichmäßig verteilt vier Justierbolzen 6 befestigt, deren Längsachsen radial bezüglich des Dorns 2 ausgerichtet sind. Die Justierbolzen 6 bestehen aus einem Kunststoffmaterial. Die Justierbolzen 6 der beiden Umfangslinien 4 fluchten in axialer Richtung des Dorns 2.

Die Fig. 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Gradientenspuleneinheit 8 zur Erzeugung eines diametralen Gradientenfeldes. Die Gradientenspulenordnung umfaßt zwei derartige Gradientenspuleneinheiten 8, die um 90° verdreht zueinander angeordnet sind. Die Gradientenspuleneinheit 8 besteht aus zwei Gradientenbaugruppen 10, die in der Gradientenspulenordnung gegenüberliegend angeordnet werden. Die Gradientenspulenbaugruppe 10 besteht aus einem dünnen Trägerelement 12, worin zwei Durchgangslöcher 14 eingearbeitet sind, deren Abstand und Durchmesser zwei axial beabstandet angeordneten Justierbolzen 6 entspricht. Das Trägerelement 12 dient lediglich als Montagehilfe für zwei Sattelspulen 16. Die beiden Sattelspulen 16 werden vorgefertigt und dann auf dem Trägerelement 12 fixiert. Alternativ können die Sattelspulen 16 auch direkt auf dem Trägerelement 12 gefertigt werden. Dazu werden vorteilhaft die Sattelspulen 16 in einer Ebene gefertigt. Wird ein festes Material für das Trägerelement 12 verwendet, wird die Gradientenbaugruppe 10 danach in die gewünschte Form gebogen. Bei einem flexiblen Trägermaterial erfolgt die Formanpassung der Gradientenbaugruppe 10 beim Anbringen an den Dorn 2.

Fig. 3 zeigt als weitere Baugruppe zur Herstellung der Gradientenspulenordnung zwei Kühl- und Führungsteileinheiten 18. In die Kühl- und Führungsteileinheit 18 sind ebenfalls wie bei der Gradientenbaugruppe 10 zwei Durchgangslöcher 14 eingebracht, damit sie auf die Justierbolzen 6 aufgesetzt werden kann. Zwei gegenüberliegend angeordnete Kühl- und Führungsteileinheiten 18 bilden eine zusammengehörende Baugruppe. Die Kühl- und Führungsteilein-

heit 18 umfaßt einen flexiblen Trägereil 20, auf dessen Unterseite Kühlmittelkanäle 22 und auf dessen Oberseite Führungsteile 24 zur Positionierung von Windungen einer Zylinderspule 25 befestigt sind. Die Führungsteile 24 besitzen Nuten, worin ein die Zylinderspule 25 bildender Wickeldraht eingelegt wird. Die vorstehend erwähnte Zylinderspule 25 ist zur Erzeugung eines axial ausgerichteten Gradientenfeldes vorgesehen.

Fig. 4 zeigt im Querschnitt den vollständigen Aufbau der die Gradientenspulenordnung bildenden Baugruppen auf dem Dorn 2. Auf die oberen und unteren Justierbolzen 6 sind zunächst die eine Gradientenspuleneinheit 8 bildenden Gradientenbaugruppen 10 aufgesteckt. Diese erste Gradientenspuleneinheit 8 ist zur Erzeugung eines vertikalen Gradientenfeldes vorgesehen. Eine zweite Gradientenspuleneinheit 8 ist auf die seitlichen Justierbolzen 6 aufgesteckt. Die zweite Gradientenspuleneinheit 8 soll ein horizontales Gradientenfeld erzeugen. Darauf sind zwei Kühl- und Führungsteileinheiten 18 mittels der Justierbolzen 6 positioniert. Auf die beiden Kühl- und Führungsteileinheiten 18 wird dann die Zylinderspule 25 gewickelt. Damit ist der Primärgradientenspulensatz vervollständigt.

Im Aufbau folgt auf den Primärgradientenspulensatz eine Shimbaugruppe 26 mit definierter Dicke. Die Shimbaugruppe 26 wird ebenfalls mittels der Justierbolzen 6 positioniert. Die Shimbaugruppe 26 umfaßt Formkerne, die nach dem Verguß wieder entfernt werden und so taschenförmige Hohlräume in der Gradientenspulenordnung schaffen. Die Hohlräume sind vorgesehen zur Aufnahme von Shimmenten, mit denen das Hauptmagnetfeld des Magnetresonanzenapparats geformt und homogenisiert werden kann.

Der Aufbau des Sekundärgradientenspulensatzes beginnt mit den beiden Kühl- und Führungsteileinheiten 18 auf die Justierbolzen 6. Nach dem Aufwickeln der Zylinderspule 25 werden auf die Justierbolzen 6 zwei Gradientenspuleneinheiten 8 aufgesteckt.

Zur vorläufigen Fixierung der einzelnen Baugruppen auf dem Dorn 2 können Spannbänder geringer Dicke (z. B. 0,3 mm) verwendet werden.

Fig. 5 zeigt denselben Aufbau der Gradientenspulenordnung wie Fig. 4, jedoch in einem Längsschnitt, so daß hinsichtlich der Bedeutung der verwendeten Bezugszeichen auf die Beschreibung der Fig. 4 verwiesen wird.

Nach der Montage der Baugruppen 10, 18, 25 auf dem Formkern 2 wird in einem Prüfschritt die von den Gradientenspulen 16, 25 erzeugte Feldverteilung an ausgewählten Punkten gemessen, um vor dem Vergießen Montagefehler feststellen zu können und gegebenenfalls zu beheben.

Fig. 6 zeigt in einer perspektivischen Übersichtsdarstellung, wie der Dorn 2 mit den daran positionierten Baugruppen in einer Hohlform eingesetzt ist. Die Hohlform besteht aus zwei lösbar miteinander verbundenen Halbschalenformen 28, die zusammen mit einer Grundplatte einen zylindrischen Innenraum bilden. Die Hohlform mit den auf dem Dorn 2 angeordneten Baugruppen wird dann in einer Vakuum-Vergußanlage mit einem aushärtbaren Vergußmittel 32 gefüllt. Nachdem der Aushärtprozeß abgeschlossen ist, wobei sie während des Aushärtens in Abhängigkeit des verwendeten Vergießmittels auch in ihrer Temperatur geregelt sein kann, werden die äußeren Formteile 28, 30 von der rohrförmigen Gradientenspulenordnung entfernt. Die Justierbolzen 6 werden vom Dorn 2 abgenommen, dann kann der Dorn 2 von der Gradientenspulenordnung abgezogen werden. Schließlich werden noch die Formkerne entfernt. Der Herstellprozeß ist abgeschlossen.

1. Verfahren zum Herstellen einer aktiv geschirmten Gradientenspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät mit einem Primärgradientenspulensatz zum Erzeugen von Gradientenfeldern innerhalb eines Untersuchungsraums und einem Sekundärgradientenspulensatz zur Schirmung von Streufeldern mit den Schritten:
  - a) Aufbau aller zum Primärgradientenspulensatz und Sekundärgradientenspulensatz gehörenden Gradientenspulen (16, 25) einzelnen oder in Baugruppen (10) mit ein oder zwei Gradientenspulen (16) auf einem ersten Teil einer Vergußform (2),
  - b) vervollständigen der Vergußform (2, 28, 30) zum Vergießen,
  - c) vergießen der Gradientenspulen mit einem Vergußmaterial (32),
  - d) entnehmen der Gradientenspulenordnung aus der Vergußform (2, 28, 30) nach Aushärten des Vergußmaterials (32).
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Verfahrensschritt a) zusätzlich mit den Gradientenspulen (10, 16, 25) weitere Funktionsgruppen (18) auf dem ersten Teil der Vergußform (2) aufgebaut werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionsgruppen (18) Kühlmittelkanäle (22) umfassen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß im Verfahrensschritt a) zwischen zwischen den Gradientenspulen des Primärgradientenspulensatzes und den Gradientenspulen des Sekundärgradientenspulensatzes Abstandhalter montiert werden, daß die Abstandhalter im Verfahrensschritt d) ebenfalls entfernt werden, wobei die so entstandenen taschenförmigen Hohlräume zur Aufnahme von Shim-Elementen zur Formung und Homogenisierung eines statischen Hauptmagnetfeldes ausgebildet sind.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß an dem ersten Teil der Vergußform (2) mindestens zwei Justierbolzen (6) befestigt werden, daß in den Gradientenspulenbaugruppen (10) und den einzelnen Funktionsgruppen (18) mindestens zwei Durchgangslöcher (14) eingebracht sind und daß die einzelnen Gradientenspulenbaugruppen (10) und Funktionsgruppen (18) so aufgelegt werden, daß die Justierbolzen (6) in die Durchgangslöcher (14) eingreifen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß acht Justierbolzen (6) auf dem ersten Teil der Vergußform (2) befestigt werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Entnehmen der Gradientenspulenordnung vom ersten Teil der Vergußform (2) zunächst die Justierbolzen (6) von dem ersten Teil der Vergußform (2) abgenommen werden, danach wird die vergossene Gradientenspulenordnung vom ersten Teil der Vergußform (2) abgenommen.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Gradientenspulenordnung rohrförmig ausgebildet wird und daß als erster Teil der Vergußform (2) ein zylindrischer oder leicht konischer Formkern verwendet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Primärgradientenspulensatz und der Sekundärgradientenspulensatz Sattelspulen (16) und Zylinderspulen (25) umfassen, daß jeweils zwei Sattelspulen (16) als Baugruppe (10) auf dem ersten Teil Ver-

gußform (2) aufgebaut werden, daß die Funktionsgruppen (18) Führungsteile (24) umfassen und daß die Zylinderspulen (25) mit Hilfe der Führungsteile (24) dazugewickelt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest einige der Gradientenspulenbaugruppen (10) und/oder Funktionsgruppen (18) mittels Spannbändern gehalten werden.

11. Vorrichtung zum Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem ersten Teil einer Vergußform (2) Justierbolzen (6) zum paßgenauen Aufbau von Baugruppen (10, 18) befestigt sind, wobei in den einzelnen Baugruppen (10, 18) entsprechende Durchgangslöcher (14) eingebracht sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Teil der Vorrichtung (2) als zylindrischer oder leicht konischer Formkern ausgebildet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß an jedem Ende des Formkerns vier Justierbolzen (6) gleichmäßig über eine Umfangslinie (4) verteilt angeordnet sind.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Formkern (2) und die Justierbolzen (6) aus einem nichtmagnetischen Material bestehen.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

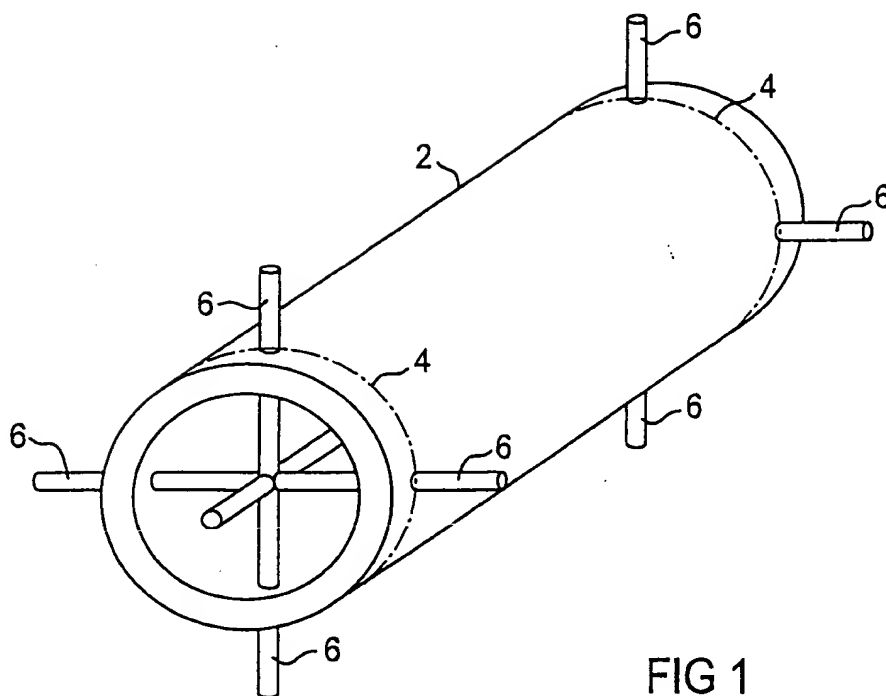


FIG 1

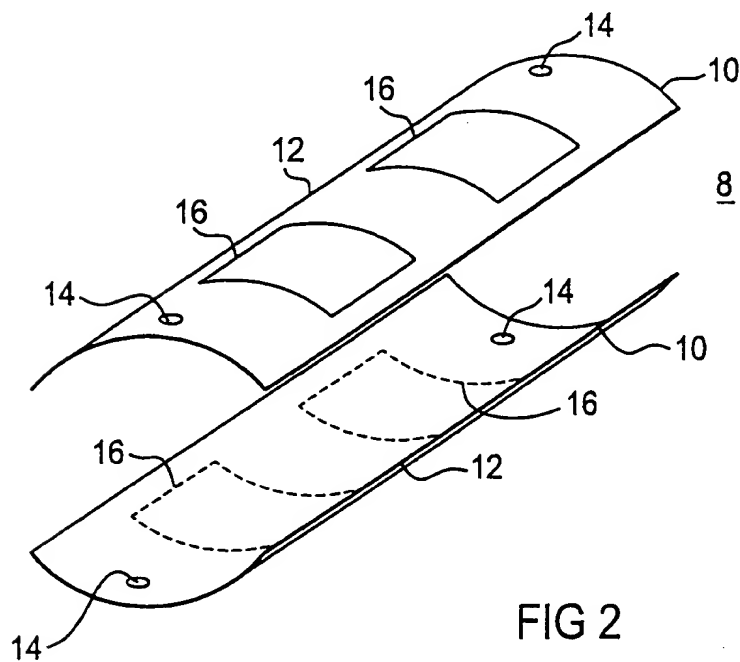


FIG 2

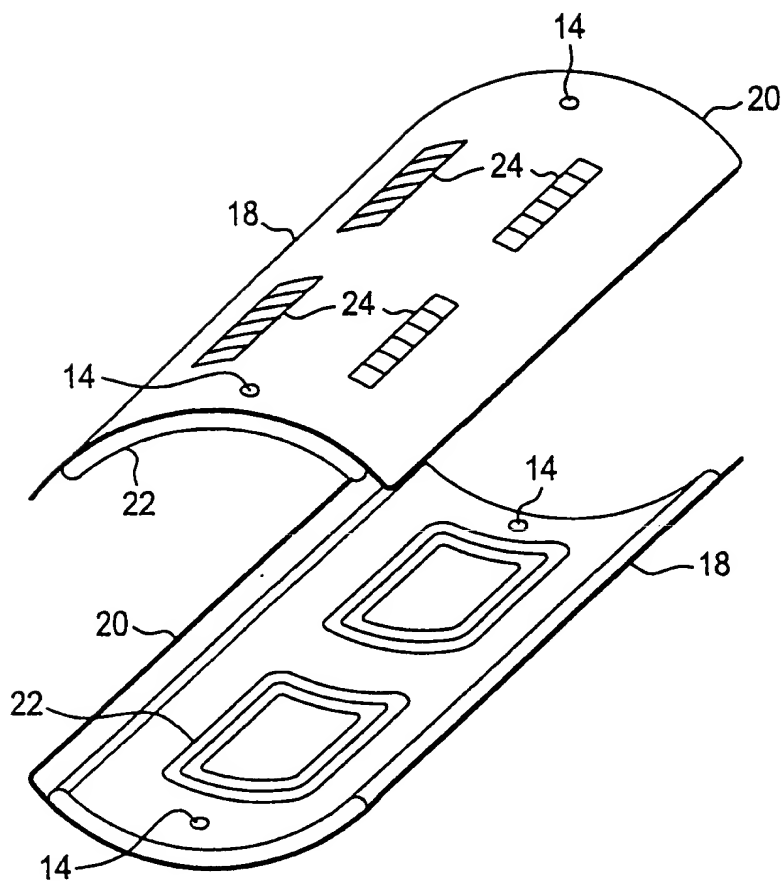


FIG 3

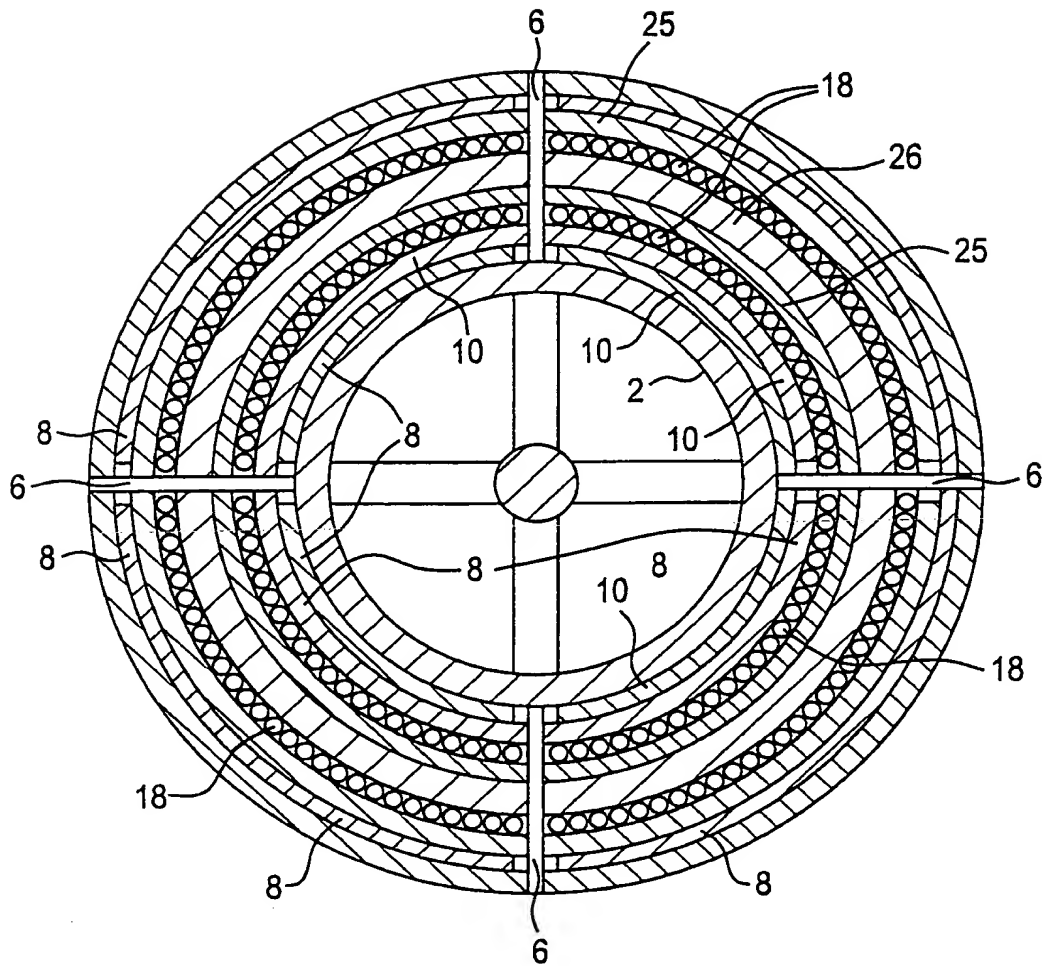
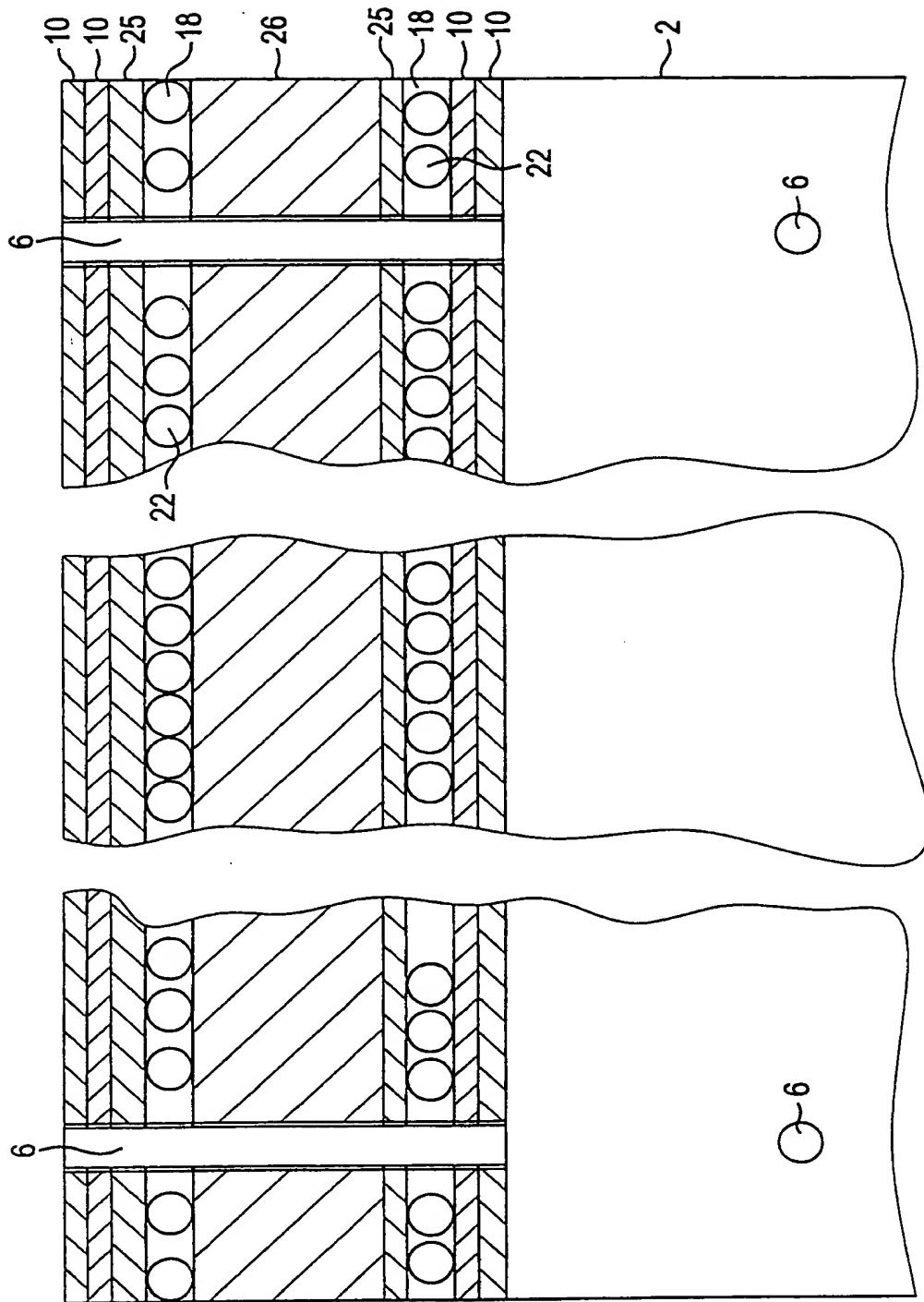


FIG 4





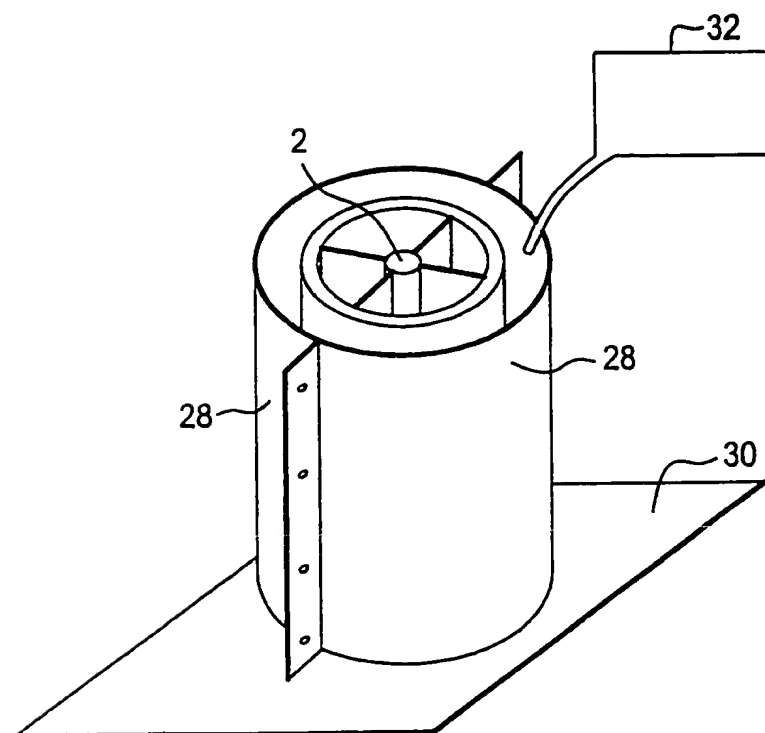


FIG 6